

海尔智家
Haier smart home

5月28日, 2024 | 北京

基于模型设计的创新开发模式在家电嵌入式软件中的应用

范纪青, 海尔水联网嵌入式专家



MATLAB EXPO

要点

- 海尔智家和水联网产品介绍
- 传统嵌入式软件开发流程及创新软件架构
- 基于模型的软件开发优点
- 基于模型的核心算法和产品的开发
- 传统测试模式和基于模型的测试
- 面临的挑战

海尔智家介绍

- 海尔智家是海尔集团旗下子公司，连续5年进入《财富》世界500强榜单，连续19年入选世界品牌实验室中国500最具价值品牌，拥有4家上市公司。

<p>Haier 打造智慧家庭，定制美好生活</p> 	<p>Casarte 精智生活 为爱不凡</p> 	<p>Leader 生活养成伙伴</p> 	<p>GE APPLIANCES 以美好，致生活</p> 	<p>FISHER & PAYKEL 以人为本 空间无界</p> 	<p>AQUA 让全球用户享受更高质量的生活</p> 	<p>CANDY 简化你的生活</p> 					
<p>全球闻名的品牌名称； 产品覆盖全品类与全价格区间； 进入海外市场的核心品牌</p>	<p>中国市场的自有高端品牌； 高端白色家电的市场领军者； 融合欧美风格的艺术设计理念</p>	<p>轻时尚家电的倡导者； 产品覆盖全品类，主打年轻市场； 聚焦智能与极简的设计理念</p>	<p>服务一半以上的美国家庭； 是美国增长最快的家电公司也是美国最受尊敬的企业之一； 125年以来，始终秉承创始人爱迪生的发明创造精神，致力于设计和制造品质出众的家电</p>	<p>新西兰国宝级品牌； 世界顶级的奢华厨房电器品牌； 聚焦社交厨房理念</p>	<p>源自三洋，用户青睐的日本高端家电品牌； 在日本和东南亚市场广泛认知； 日本智能社区洗行业引领者</p>	<p>意大利智能品牌； 首个推出Simply-F的品牌； 可通过Wi-Fi连接全系列家电； 欧洲互联家电第一份额</p>					
<p style="text-align: center;">全球化网络布局</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 14.28%;">10亿 用户家庭</td> <td style="width: 14.28%;">35 工业园</td> <td style="width: 14.28%;">138 制造中心</td> <td style="width: 14.28%;">108 营销中心</td> <td style="width: 14.28%;">23万+ 销售网点</td> </tr> </table>							10 亿 用户家庭	35 工业园	138 制造中心	108 营销中心	23 万+ 销售网点
10 亿 用户家庭	35 工业园	138 制造中心	108 营销中心	23 万+ 销售网点							

海尔水联网产业介绍

- 作为全球引领的智慧用水提供者，以用户为中心，提供安全，健康，专业，智能的用水场景。

- 提供产品：

①储水式热水器，即热式热水器，电采暖热水器。

②燃气热水器

③采暖炉

④太阳能热水器

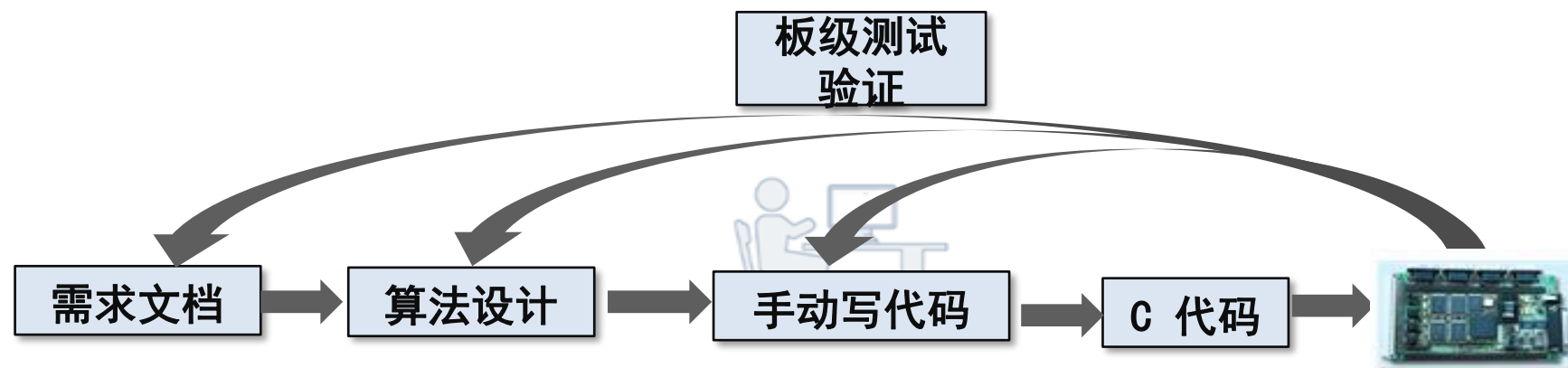
⑤ 热泵热水器

⑥净水机，饮水机等

⑦用水产品组成的多能源系统



技术背景 - 传统嵌入式软件开发流程



开发痛点

人工编写代码易引入编程错误，效率低

问题溯源周期长、测试覆盖度低，人工操作。

核心算法验证依靠整机，自研难度大

产品痛点

项目拖期、市场新需求响应慢，不能快速满足用户差异化需求

产品不良，用户投诉

依赖供应商、调试时间长，性能弱

目标：提升软件开发效率和质量，以及通用性。

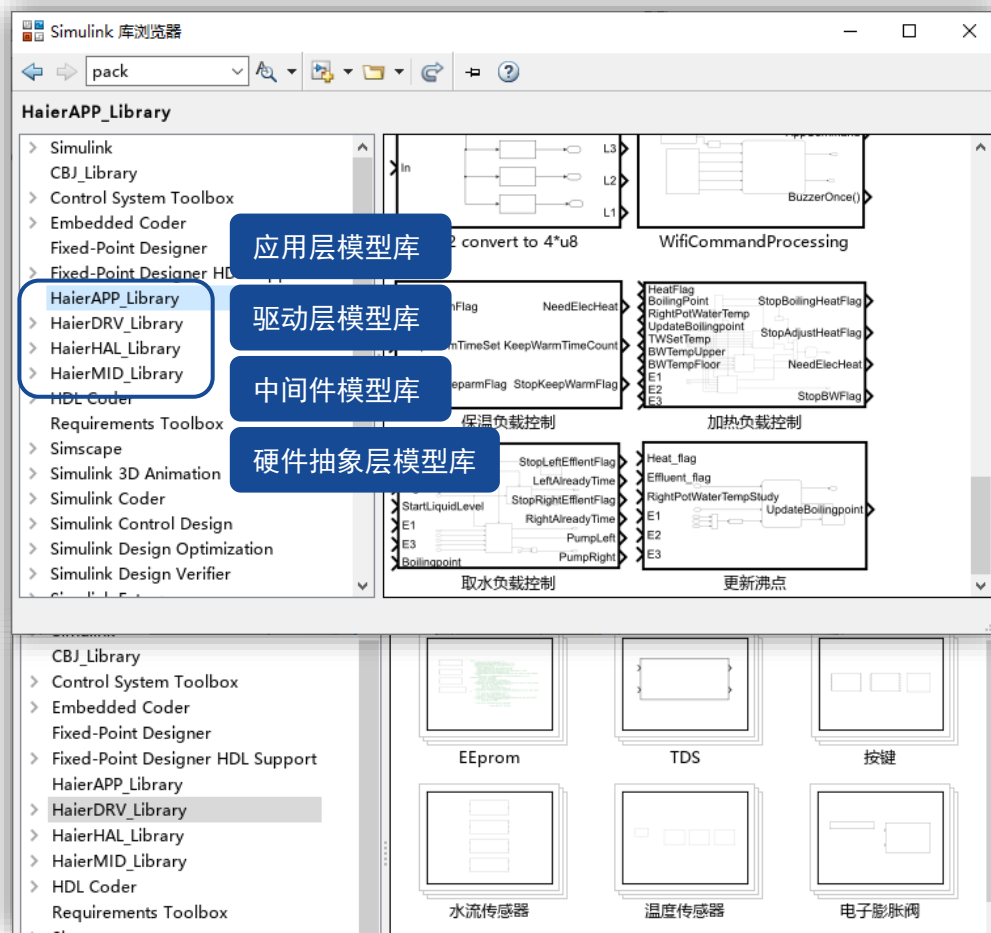
海尔水联网产品软件架构和实现

- 软件/硬件解耦，硬件、软件标准化模块化，代码跨品类通用。
- 开发模式由传统的瀑布式，过渡到敏捷式模式。软件基于模型开发，代码自动生成。多人合作集成开发，自动化工具贯穿开发始终。



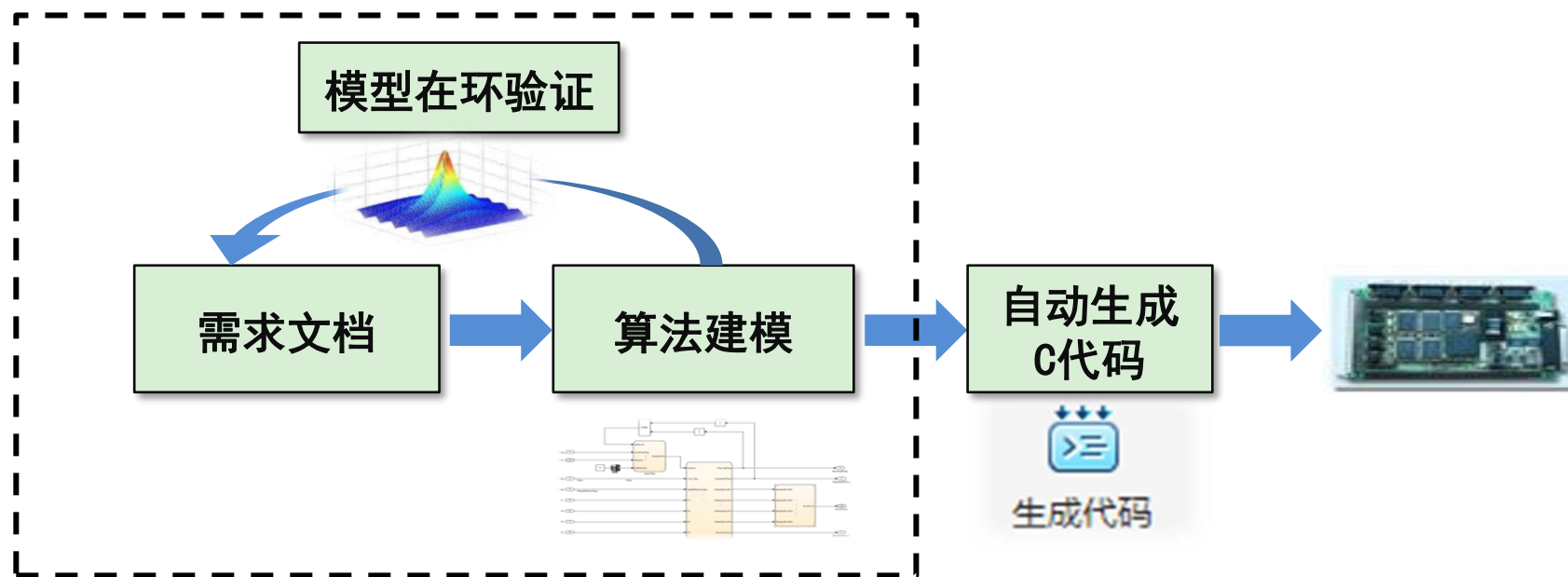
任务管理
调度, 数据管理

自动化测试工具



软件模块基于模型设计-

以**模型**为核心，模型是最终软件产品的高度数字化具现



解决方案

自动生成代码，**效率高**

模型在环验证**覆盖度高**，问题**早发现**，实验**成本低**

物理系统仿真，支撑核心算法自研

基于模型的变频驱动控制系统仿真平台-掌控核心算法

✓节省试验资源，降低开发成本20%

✓用户抱怨降低90%以上

✓产品性能提升

扩张MARS，检测电机转子位置算法：
参考模型：

$$\rho id = -\frac{R}{Ld} id + weiq + \frac{1}{Ld} ud$$

$$\rho iq = -\frac{R}{Lq} iq - weid - \frac{\varphi_f}{Lq} we + \frac{1}{Lq} uq$$

可调模型：

$$\rho \check{id} = -\frac{R}{Ld} \check{id} + weiq + \frac{1}{Ld} ud + ke_d$$

$\rho \check{iq}$

$$= -\frac{R}{Lq} \check{iq} - weid - \frac{\varphi_f}{Lq} we + \frac{1}{Lq} uq + ke_q$$

自适应率：

$$we = (Kp + \frac{Ki}{s}) Error$$

PLL锁相环处理。

频率控制

FOC控制模型

用户用电环境模拟模型
(GBT-12326-2008)

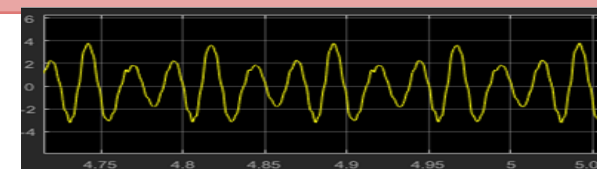
负载模拟模型

SVPWM模型

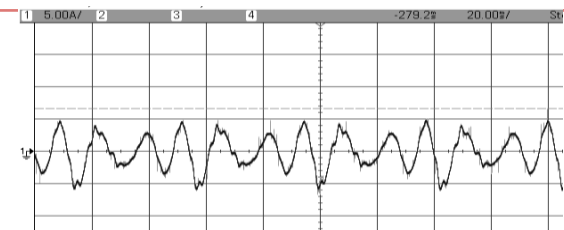
仿真数据 VS 整机实测数据

双转子压缩机相电流

仿真波形

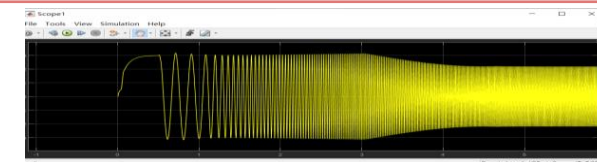


整机测试波形

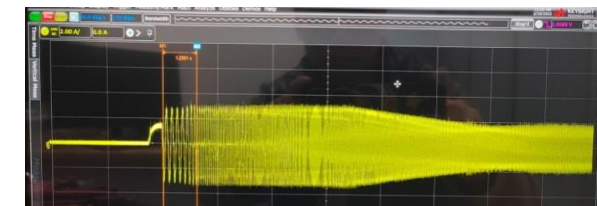


单转子压缩机相电流

仿真波形



整机测试波形



基于模型的设计-实现功能解耦、组件可视化，代码一键生成

✓数据流清晰

✓交互接口明确

✓团队并行开发

✓开发效率提升30%

模块参数: 保温负载控制
保温负载控制 (mask) (link)
茶吧机左壶保温PTC负载控制

参数

接口定义	输入/输出	含义	数据类型	数据范围	单位	备注
KeepwarmFlag	输入	保温功能标志位	uint8	[0,1]	/	0-关闭; 1-启动
KeepwarmTimeSet	输入	保温时长设置	uint8	[1,2,...,24]	小时	初始值8
RestartKeeparmFlag	输入	重启保温标志位	uint8	[0,1]	/	0-关闭; 1-重启
NeedElecHeat	输出	保温负载控制	uint8	[0,1]	/	0-关闭; 1-启动
KeepWarmTimeCount	输出	已保温时长	uint8	[1,2,...,24]	小时	
StopKeepWarmFlag	输出	保温停止标志位	uint8	[0,1]	/	0-不停止; 1-停止...

确定(O) 取消(C) 帮助(H) 应用(A)

▲ 一款水产品项目功能集成模型

传统测试模式和基于模型的测试-传统嵌入式软件的测试

特点:

- 1、由人工操作输入输出
- 2、人工判断
- 3、人工记录 和报告
- 4、无自动化手段。效率低。一款产品会反复测试多次。
- 5、测试覆盖率低，尤其是一些异常条件和组合条件的测试。



传统测试模式和基于模型的测试

基于模型的测试平台-提升动态测试覆盖率

✓ 自动化测试，效率高

✓ 测试覆盖度100%

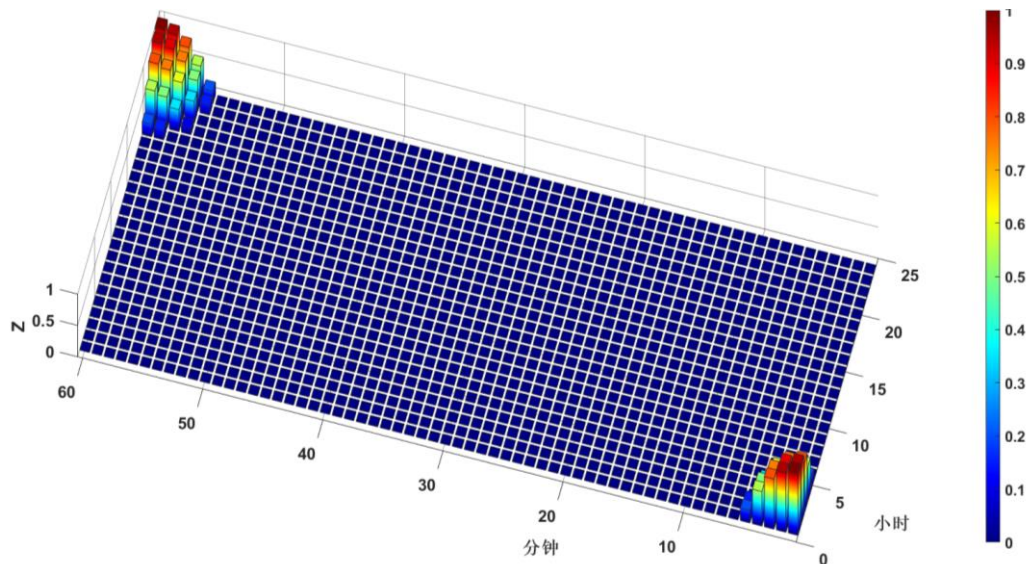
✓ 软件质量提升

示例：

“预约加热”功能中，用户设置预约时间要求精确至“X时X分”，仅预约时间的设置共有： $24h \times 60min = 1440$ 种组合。

手动测试，遍历千余种组合是无法实现的；

模型自动化测试，40min即可完成**100%覆盖全域**的测试组合。



▲ 测试风险点分布示意图

搭建测试平台

测试用例总数：1440

NAME	STATUS
Results: 2022-May-31 16:15:51	1440
Harness3	1440
Scripted_Iteration1	●
Scripted_Iteration2	●
Scripted_Iteration3	●
Scripted_Iteration4	●
Scripted_Iteration5	●
Scripted_Iteration6	●
Scripted_Iteration7	●
Scripted_Iteration8	●
Scripted_Iteration9	●
Scripted_Iteration10	●
Scripted_Iteration11	●
Scripted_Iteration12	●

测试范围配置
 小时：[0,1,...,23]
 分钟：[0,1,...,59]

覆盖度统计：100%

Model Hierarchy/Complexity	Decision	Condition	MCDC	Execution
1. ElecHeatRoutine_Model	9 100%	100%	100%	NA
2. ... Chart1	8 100%	100%	100%	NA
3. ... SE:Chart1	7 100%	100%	100%	NA

1. Model "ElecHeatRoutine_Model"

Child Systems: Chart1

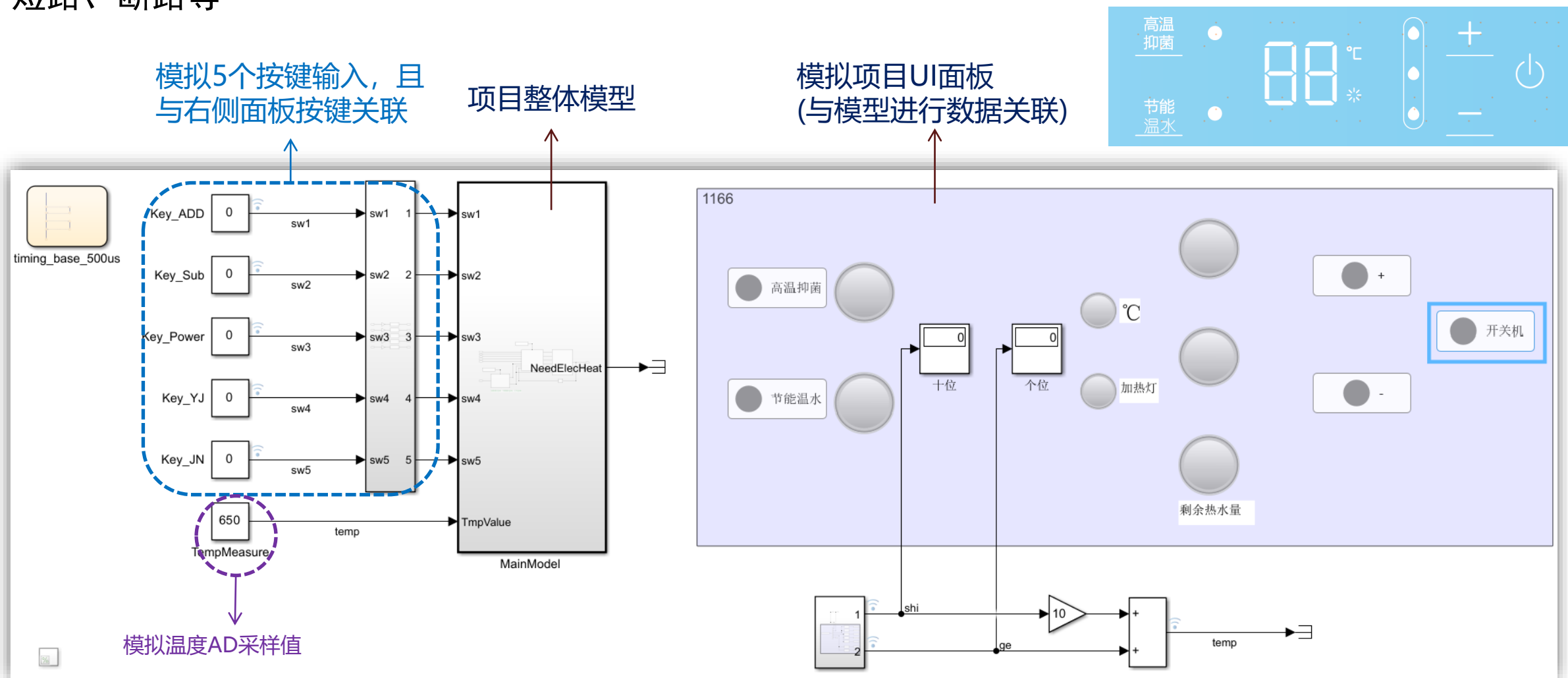
Metric	Coverage (this object)	Coverage (inc. descendants)
Cyclomatic Complexity	1	9

配置生成测试用例

生成测试报告

传统测试模式和基于模型的测试-基于模型的系统测试

不依赖硬件，软件集成后可对系统软件进行功能验证，支持异常条件或场景的测试，例如：干烧、短路、断路等



面临的挑战

- 在开发任务重的前提下，如何实现基于模型的开发

C代码+基于模型的代码

- 传统开发理念的转变

新人用基于模型的方式开发，全新的功能模块基于模型的方式开发

- 模型开发的标准化和通用性

对变量和输入输出接口进行统一的定义

- 底层模型的开发

底层驱动，抽象等用C来写

MATLAB EXPO

谢谢!



© 2024 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

